

DOI: 10.12264/JFSC2020-0510

虾夷扇贝的闭壳力及其对捕食者海星的逃跑响应

张继红^{1,2}, 夏玉莹^{3,1}, 高振坤¹, 刘毅¹, 吴文广¹, 张紫轩^{1,3}

1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266200;
3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 采用压力传感器—测力计, 测定了 3 个规格虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)的闭壳力及其对捕食者海星刺激的逃跑行为响应, 以期了解虾夷扇贝的运动行为特性。3 个规格组虾夷扇贝壳长设置分别为(82.71±3.49) mm (大组)、(65.76±4.20) mm (中组)、(32.36±2.38) mm (小组)。研究发现, (1)3 种规格虾夷扇贝的闭壳频次(time/min)分别为 0.7±1.6、1.1±0.5 和 0.6±0.4; 最大闭壳力 F_{\max} 分别为(11.4±5.2) N、(5.9±1.3) N 和(1.8±0.6) N。虾夷扇贝的位相性与紧张性收缩交替出现, 在一个运动周期中, 紧张性收缩力大于位相性收缩力; 不同规格之间都存在显著性差异。规格越大, 闭壳能力越强。(2)当有海星刺激时, 3 个规格扇贝的 F_{\max} 、闭壳频次、总收缩力和紧张性收缩力都显著性增加。其中, 大中小 3 个规格的 F_{\max} 分别增至(17.1±2.8) N、(8.3±2.3) N、(2.6±0.5) N。该方法量化了扇贝的运动行为。

关键词: 虾夷扇贝; 测力计法; 运动行为; 闭壳力; 逃跑响应

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)07-0871-07

虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)是我国北方海洋牧场底播增殖的主要种类之一。自 20 世纪 80 年代引入我国以来, 虾夷扇贝繁育技术的突破, 促进底播增殖的规模化发展。然而, 随着增殖规模的扩大, 底播增殖过程中面临投苗选址盲目、投苗后去向不明、回捕率低等一系列的问题。那么, 播放到海底的虾夷扇贝是怎样运动的, 如何逃避敌害生物的捕食, 目前亟待需要回答的关键科学问题是: 扇贝的运动行为特征与生物学基础、运动行为与环境的关系, 即虾夷扇贝运动行为生态学问题。

动物的运动是由神经系统和肌肉系统协同作用完成的。扇贝通过外套膜上的眼点和触手感受外界环境的变化, 通过闭壳肌的收缩舒张双壳间歇性地拍击, 喷出水流, 借其反作用力推动自身

运动。扇贝双壳拍击的速度影响喷水产生推力的大小及扇贝运动的速度^[1]。闭壳肌由横纹纤维和光滑纤维组成, 横纹肌负责壳的快速收缩, 平滑肌控制贝壳的缓慢运动和保持在开口状态。未钙化的铰合部像弹簧一样, 在闭壳肌松弛后, 使壳张开。运动行为是动物非常重要的机能, 决定了动物的生存、生长以及能否成功繁育等。扇贝可以通过运动行为逃避捕食者的捕食以及恶劣的环境^[1], 其运动能力越强, 逃避能力越强, 扇贝被捕食的风险就会降低^[2]。

多棘海盘车(*Asterias amurensis*)是贝类的天然捕食者, 是黄渤海区底播增殖贝类的主要敌害生物之一^[3-5]。海星大量聚集对贝类养殖和底播增殖造成严重危害, 给渔民造成巨大的经济损失^[6]。扇贝的运动能力以及逃避敌害生物捕食的能力,

收稿日期: 2020-11-30; 修订日期: 2020-12-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41776155, U1906216); 农业农村部农业科研杰出人才及其创新团队培养项目(125A0301); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(20603022015017-2).

作者简介: 张继红, 博士, 研究员, 研究方向为养殖生态学与容量评估. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

直接关系到虾夷扇贝底播增殖的成活率和回捕率。然而,关于扇贝运动行为的定量研究比较匮乏,主要是受研究技术手段的限制,定性观察描述较多。随着高新技术手段诸如高速成像、视频软件分析、磁共振波谱、压力传感器等在动物行为学研究领域的应用,弥补了以往观察法定性描述较多,定量测定及机理研究的不足^[7-8]。Fleury 等^[9]首次提出采用压力传感器—测力计测定闭壳肌力量来反应扇贝运动能力的方法,形成了计量闭壳力的指标和计算公式,用于比较不同种类扇贝的运动行为特性^[10],分析海洋酸化、污染物对扇贝运动行为的影响^[1,11]。因此,本研究采用测力计法,测定不同规格的虾夷扇贝的运动行为及其对敌害生物多棘海盘车刺激的行为响应,以弄清不同规格扇贝的运动能力及逃避敌害生物的能力,为虾夷扇贝底播增殖技术的完善和改进提高科技支撑。

1 材料与方 法

1.1 实验装置

Fleury 等^[9]首次提出采用压力传感器—测力计测定闭壳肌力量来反应扇贝运动能力的方法。该方法中,扇贝的双壳置于测力计之间,扇贝每次的张壳,都需要克服测力臂的阻力,将力臂顶起,会因消耗能量而使测定的张闭壳力偏小。

本项目组改进了测力计(Force Gauge AFG-50N,德国)装置。该实验装置包括水槽、支架、测力计(图 1)。将扇贝的下壳固定在实验台上,上壳可以自由开闭。通过闭壳时触动连接测力计的钩杆,可以敏锐扇贝的闭壳力、每次闭壳的时间间隔、闭壳的频次等等,通过 EmperorTM Lite 软件可以输出数据。

1.2 实验设计

实验对象按照扇贝的壳长分为:大(82.71±3.49) mm、中(65.76±4.20) mm、小(32.36±2.38) mm 3 个实验组。暂养和实验水温均为 15 ℃。依据 Tremblay 等^[10]的报道和预实验的结果,扇贝在海星连续刺激 3 min 可使扇贝因能量耗尽而不再运动,需要恢复一定时间后可再次运动。本实验首先测定自然状况下扇贝的闭壳运动情况,实验持

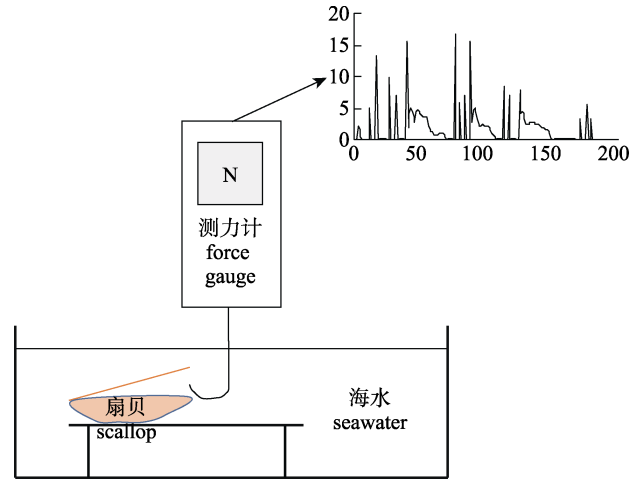


图 1 测定扇贝闭壳的实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental device for measuring the movement of scallops

续 3 min; 次日以敌害生物海星刺激扇贝(手持海星使其腕足轻轻靠近张开口的扇贝),测定扇贝的闭壳反应,实验持续 3 min。记录扇贝的反应速度、最大闭壳力、平均闭壳力、闭壳频率等指标。为了消除个体之间的误差,各设平行样 15 个^[10]。

1.3 扇贝开闭壳能力的量化指标及计算方法

扇贝的开闭壳有 2 种方式^[10],一是贝壳的快速开闭(即拍击),是由闭壳肌中的横纹肌收缩产生的,该收缩产生的力称为拍击力 F_{clap} ,如图 2 所示,每出现一次峰值,代表虾夷扇贝拍击一次。二是贝壳的持续性、缓慢开闭,是由闭壳肌中的平滑肌收缩产生的,也称为紧张性收缩,这种收缩产生的力称为紧张性收缩力 F_{tonic} (图 2 中的 F_{tonic})。通常,扇贝会在短时间内迅速拍击 n 次,然后,再持续性、缓慢地收缩 1 次,这一过程称为一个运动周期。短时间迅速拍击 n 次产生的力称为位相性收缩力 F_{phasic} ,即 F_{clap} 的和。

指示扇贝开闭壳的运动特性的量化指标包括 F_{total} 、 F_{phasic} 、 F_{tonic} 、 n 和最大收缩力(F_{max})。主要计算公式如下^[10]:

$$F_{total} = \frac{\int f dt}{t_{total}} \quad (1)$$

$$F_{phasic} = \sum_i^n F_{clap} \quad (2)$$

$$F_{tonic} = F_{total} - F_{phasic} \quad (3)$$

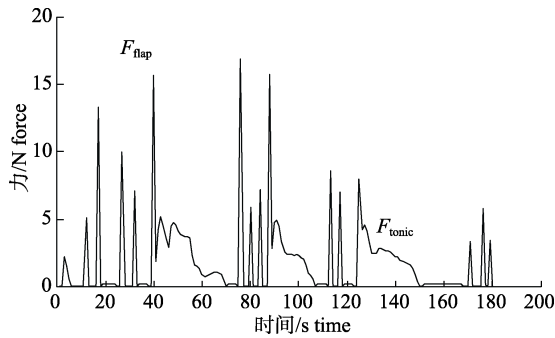


图 2 虾夷扇贝闭壳能力的量化指标

Fig. 2 Quantitative indicators of the ability to the movement of scallops

1.4 数据分析

采用 SPSS16.0 软件对相同状态(正常状态或海星刺激状态)不同规格或相同规格不同状态的运动行为指标进行单因子方差分析, 对于差异显著指标的采用 LSD 进行两两比较; 对规格和状态的交互作用进行双因子方差分析, $P < 0.05$ 视为差异显著, $P < 0.01$ 视为差异极其显著。

2 结果与分析

2.1 实验贝类的基础生物学数据

实验中 3 种规格虾夷扇贝的基础生物学指标见表 1。实验期间的盐度为 30 ± 1 。

表 1 实验所用虾夷扇贝的基础生物学数据

Tab. 1 The basal biological data of *Patinopecten yessoensis*

$n=15; \bar{x} \pm SD$

参数 parameter	大规格 big size	中规格 middle size	小规格 small size
壳长/mm shell length	82.71 \pm 3.49	65.76 \pm 4.20	32.36 \pm 2.38
总湿重/g total wet weight	65.89 \pm 9.51	32.27 \pm 6.26	4.64 \pm 1.21
软体部干重/g dry weight of soft tissue	2.70 \pm 0.87	1.12 \pm 0.09	0.30 \pm 0.04

2.2 不同规格虾夷扇贝的运动特性

大、中、小 3 种规格虾夷扇贝的测力计输出图像见图 3。压力传感器—测力计记录显示, 一系列的位相性收缩(拍击)被长时间的紧张性收缩分

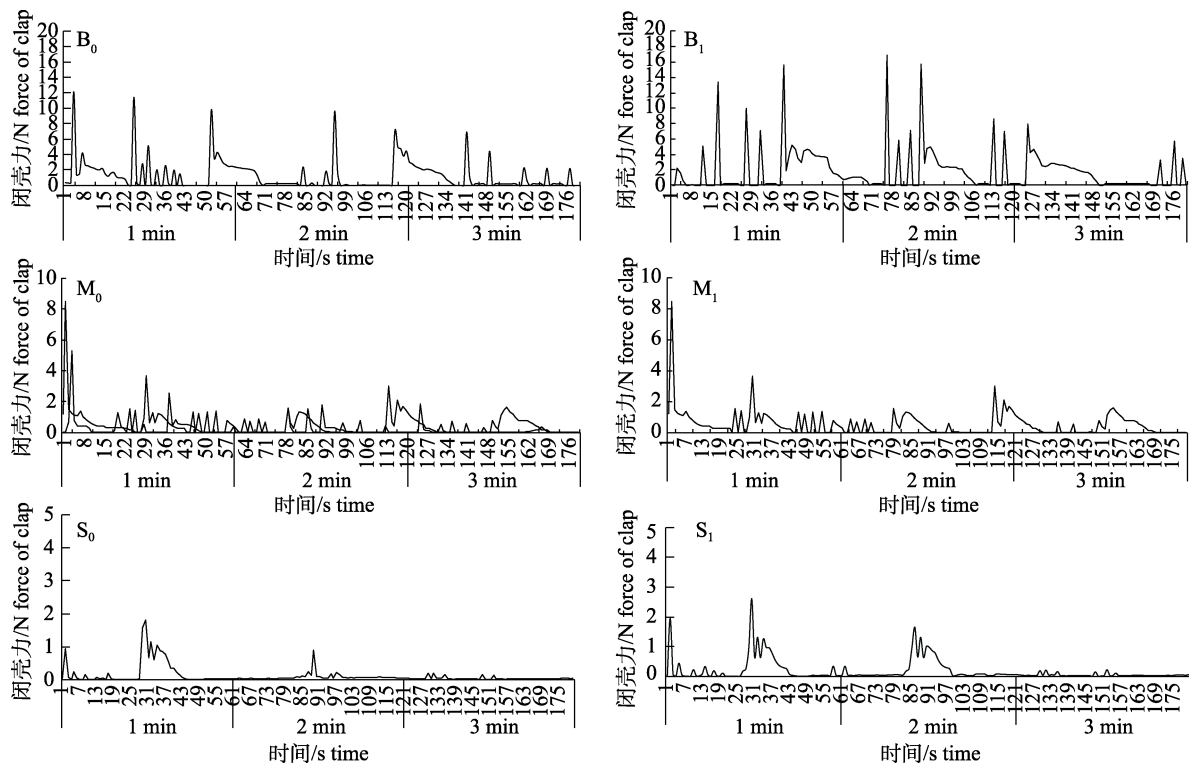


图 3 不同规格虾夷扇贝闭壳运动测量输出图

S_0 、 M_0 和 B_0 分别表示正常状态下的小、中、大 3 种规格虾夷扇贝; S_1 、 M_1 和 B_1 分别表示有海星刺激下的小、中、大 3 种规格虾夷扇贝。

Fig. 3 Typical force recording during an movement response for different sizes scallop *Patinopecten yessoensis*. S_0 , M_0 , and B_0 represent small, medium, and large size scallops under normal conditions; S_1 , M_1 , and B_1 represent small, medium, and large size scallops under starfish stimulation, respectively.

开, 即位相性和紧张性收缩交替出现。对于中规格和大规格的扇贝, 位相性收缩力贯穿在 3 min 实验期间; 在有敌害生物海星刺激时, 拍击次数密集, 拍击力 F_{clap} 增大(图 3-B₁, M₁); 随着时间的延长, 运动能力(闭壳次数和力)下降。规格越大的扇贝闭壳力越大, 总体的趋势是大规格>中规格>小规格; 有海星刺激大于正常状态。

不同规格扇贝在 3 min 的平均闭壳频率和最

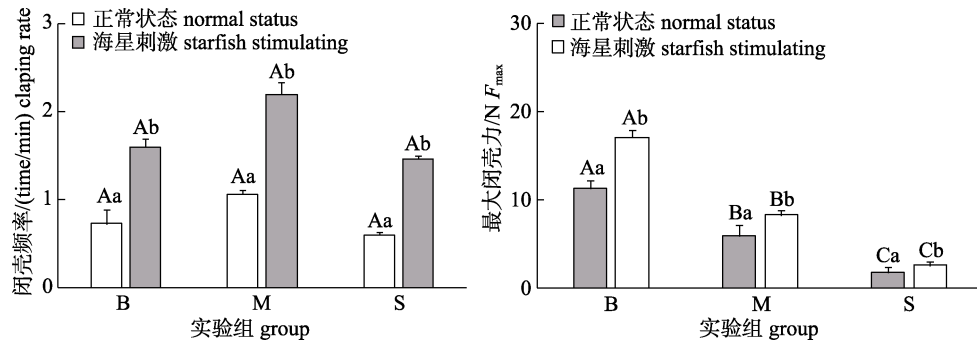


图 4 不同规格虾夷扇贝在正常状态和海星刺激下的闭壳频率和最大收缩力

小写字母代表同一规格实验组在不同刺激状态下有显著性差异 ($P < 0.05$);

大写字母代表同一刺激状态不同规格实验组有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 4 The clap rate and maximum contraction force of adductor muscle of different sizes of scallop *Patinopecten yessoensis*, without and with the stimulating of starfish

Different lowercases indicate significant difference ($P < 0.05$) at different conditions of the same size group.

Different uppercases indicate significant difference ($P < 0.05$) among different size groups at the same condition.

当有敌害(海星)刺激时, 虾夷扇贝的最大收缩力极其显著增加 ($P < 0.01$), 其中, 与正常状态相比, 小规格和中规格扇贝的最大收缩力均极其显著增加 ($P < 0.01$)。不同规格之间的差异极其显著 ($P < 0.01$), 依然是规格越大闭壳力越大, 并且规格之间的差异都极其显著 (LSD, $P < 0.01$)。对于闭壳频次, 规格之间无显著性差异, 但是, 同正常状态相比, 受敌害生物刺激时, 各规格组的闭壳次数均呈增加的趋势。

根据公式(1)~公式(3)计算的 F_{total} 、 F_{phasic} 、 F_{tonic} 结果见图 5。总体来讲, 依然是规格越大, 其 F_{total} 、 F_{phasic} 、 F_{tonic} 收缩力越强; 海星刺激状态下的 F_{total} 、 F_{phasic} 、 F_{tonic} 均大于正常状态; 紧张性收缩力 F_{tonic} 大于位相性收缩力 F_{phasic} 。双因子方差分析结果显示, 对于位相性收缩力 F_{phasic} , 规格之间的差异极其显著 ($P < 0.01$), 而有、无海星刺激没有显著性差异, 并且规格与有无海星刺激之间

无显著的交互作用 (two-way ANOVA, $P > 0.05$)。不同规格和有海星刺激都对紧张性收缩力 F_{tonic} 和总收缩力 F_{total} 有显著性影响 ($P < 0.05$), 但是交互作用不显著 (two-way ANOVA, $P > 0.05$)。

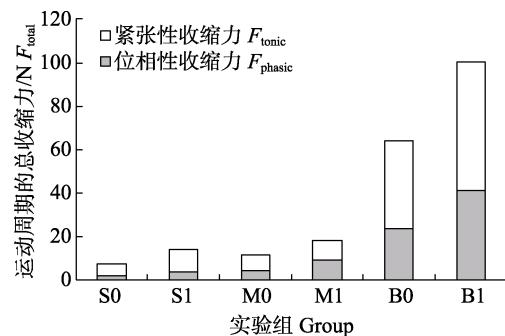


图 5 虾夷扇贝在正常状态和海星刺激下的紧张性收缩力、位相性收缩力和总收缩力

Fig. 5 The tonic, phasic and total contraction force of adductor muscle from different sizes of scallop *Patinopecten yessoensis*, without and with the stimulating of starfish

3 讨论

3.1 不同规格虾夷扇贝的运动特性

在自然界中, 生物有各种各样的运动形式, 这些运动依赖于生物的形态、生理和生化特性, 诸如肌肉的大小、肌纤维的类型、能量储备的情况以及代谢能力等^[10]。扇贝运动主要涉及闭壳肌、韧带和未钙化的铰合部铰接的贝壳^[12-13]。闭壳肌产生的力可调节贝壳的开度, 使其缓慢的运动, 或者贝壳快速开闭, 扇贝以跳跃或游泳的形式远离潜在的掠食者。本研究结果显示, 虾夷扇贝的位相性与紧张性收缩交替出现。位相性收缩比较有力, 但是容易疲劳; 紧张性收缩相对缓慢但是持续性较长^[14]。紧张性收缩使闭壳肌的肌肉得以恢复并促进随后的位相性收缩。不论是位相性收缩力, 还是紧张性收缩力, 不同规格之间都存在显著性差异(图 4)。这也体现了闭壳肌(横纹肌和平滑肌)在扇贝运动中的关键作用。Marsh 等^[15]测定海湾扇贝(*Argopecten irradians*)的闭壳频次为 1.6 次/s, Fleury 等^[9]测定大西洋扇贝(*Placopecten magellanicus*)幼贝的闭壳频次为 1.2 次/s, 最大闭壳力 F_{\max} 为 3.93 N。本研究测定的虾夷扇贝的闭壳频次在范围 0.6~2.2 次/s, 最大闭壳力 F_{\max} 在范围 1.8~17.1 N。考虑到种类和实验条件的不同, 我们的结果与已有报道的结果一致性还是比较好的。

3.2 虾夷扇贝对敌害生物的逃避响应

捕食者与被捕食者之间的关系是生态系统的基本组成部分^[16]。海星是海洋底栖生态系统中的关键物种, 据报道, 海星对扇贝的捕食作用是贝类死亡的主要原因^[17]。然而, 目前渔业资源管理者对捕食者与被捕食者的详细信息知之甚少。扇贝受海星刺激时的闭壳能力(诸如拍打次数、频率以及反应持续时间), 在某种程度上可以反映其逃避能力^[18]。本研究发现, 当有海星刺激时, 3 个实验规格扇贝的 F_{\max} 、闭壳频次、总收缩力和紧张性收缩力都显著性增加; 规格越大, 闭壳能力越强。Dadswell 等^[19]、Manuel 等^[20]研究也证实双壳贝类逃避敌害生物的能力随着规格的增大而增加。Tremblay 等^[10]根据扇贝壳的形状和受海星刺

激时的肌肉收缩反应情况, 将扇贝分为运动活跃型和运动迟缓型(偏好静止不动)。其中, 运动迟缓型的扇贝(包括 *Mimachlamys asperrima* 和 *Crassadoma gigantea*)在受海星刺激时, 首先是发生紧张性收缩响应, 并且, F_{tonic} 的时间和值比较大, 扇贝通过减少壳的张开, 提高闭壳时间来保护其免受捕食者的侵害。运动活跃型的扇贝(包括 *Amusium balloti*、*Placopecten magellanicus* 和 *Pecten fumatus*)在遇到海星刺激时首先采用位相性收缩, 使壳快速有力地拍击, 扇贝可迅速跳跃逃避。根据虾夷扇贝对海星刺激的响应来看, 虾夷扇贝运动偏向于活跃型。

3.3 测力计法的优缺点

扇贝闭壳肌的收缩性能有 2 种方式进行量化评估, 一种方式是通过目测/视频记录或压力测量来观察和评估完整扇贝个体的运动及逃逸反应; 另一种是通过测量位相性收缩肌的肌纤维的收缩特性^[9]。使用测力计测定闭壳肌的收缩性能是一种简单、便捷的技术方法。与电极和压力计植入法相比, 测力计法的具有测定时间短、对实验动物的伤害轻, 并且可以量化动物的紧张性收缩特性, 这是视频记录法所不具备的。当然, 通过测力计测定的扇贝运动能力并不能完全反应扇贝实际的运动速度。因为扇贝实际的游泳速度还取决于闭壳产生推力、闭壳时需要克服的阻力以及向上运动所需克服的自身重力。这些阻力与扇贝运动的角度、壳重、形状、贝壳表面光滑度、浮力等有一定的关系^[21]。我们将在今后结合视频记录等方法进一步研究。

参考文献:

- [1] Schalkhauser B, Bock C, Pörtner H O, et al. Escape performance of temperate king scallop, *Pecten maximus* under ocean warming and acidification[J]. *Marine Biology*, 2014, 161(12): 2819-2829.
- [2] Wong M C, Barbeau M A. Effects of substrate on interactions between juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus* Gmelin) and predatory sea stars (*Asterias vulgaris* Verrill) and rock crabs (*Cancer irroratus* Say)[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 287(2): 155-178.

- [3] Kim Y S. Selective feeding on the several bivalve molluscs by starfish, *Asterias amurensis* Lüken[J]. Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University, 1969, 19(4): 244-249.
- [4] Qi Z H, Wang J, Mao Y Z, et al. Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 4878-4884. [齐占会, 王珺, 毛玉泽, 等. 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 4878-4884.]
- [5] Dai K T, Li J, Guan C T, et al. Selective feeding on five species of bivalves and feeding rhythm of *Asterias amurensis*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(1): 97-102. [代克涛, 李娇, 关长涛, 等. 多棘海盘车(*Asterias amurensis*)对 5 种双壳贝类的摄食选择性及摄食节律[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(1): 97-102.]
- [6] Liu J, Zhang X M. Study on the prey selection of sea stars (*Asterias amurensis*) preying on juvenile oysters (*Crassostrea gigas*), mussels (*Mytilus edulis*) and clams (*Ruditapes philippinarum*)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(Z2): 98-105. [刘佳, 张秀梅. 多棘海盘车对太平洋牡蛎、紫贻贝、菲律宾蛤仔摄食选择性的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(Z2): 98-105.]
- [7] Liu H B, Chen X B, Kang I J, et al. The valve movement response of three freshwater mussels *Corbicula fluminea* Müller 1774, *Hyriopsis cumingii* Lea 1852, and *Anodonta woodiana* Lea 1834 exposed to copper[J]. Hydrobiologia, 2016, 770(1): 1-13.
- [8] Fleury P G, Croguennec E, Pennec S, et al. A muscle strength recorder ("Muscle meter") for quantifying juvenile scallop vitality[C]//Proceedings of the 11th International Pectinid Workshop, La Paz Mexico, 1997: 7-9.
- [9] Fleury P G, Janssoone X, Nadeau M, et al. Force production during escape responses: Sequential recruitment of the phasic and tonic portions of the adductor muscle in juvenile sea scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin)[J]. Journal of Shellfish Research, 2005, 24(4): 905-911.
- [10] Tremblay I, Guderley H E, Himmelman J H. Swimming away or clamming up: The use of phasic and tonic adductor muscles during escape responses varies with shell morphology in scallops[J]. The Journal of Experimental Biology, 2012, 215(Pt 23): 4131-4143.
- [11] Geraudie P, Bakkemo R, Milinkovitch T, et al. First evidence of marine diesel effects on biomarker responses in the Icelandic scallops, *Chlamys islandica*[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(16): 16504-16512.
- [12] Marsh M, Hopkins G, Fisher F, et al. Structure of the molluscan bivalve hinge ligament, a unique calcified elastic tissue[J]. Journal of Ultrastructure Research, 1976, 54(3): 445-450.
- [13] Chantler P D. Scallop adductor muscles: Structure and function[M]//Shumway S E, Parsons G J. Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Amsterdam: Elsevier, 2006: 229-316.
- [14] Bailey D M, Peck L S, Bock C, et al. High-energy phosphate metabolism during exercise and recovery in temperate and Antarctic scallops: An *in vivo* ³¹P-NMR study[J]. Physiological and Biochemical Zoology, 2003, 76(5): 622-633.
- [15] Marsh R L, Olson J M. Power output of scallop adductor muscle during contractions replicating the *in vivo* mechanical cycle[J]. The Journal of Experimental Biology, 1994, 193: 139-156.
- [16] Barbeau M A, Scheibling R E. Behavioral mechanisms of prey size selection by sea stars (*Asterias vulgaris* Verrill) and crabs (*Cancer irroratus* Say) preying on juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus* (Gmelin)[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1994, 180(1): 103-136.
- [17] Byrne M, O'Hara T, Lawrence J. *Asterias amurensis*[M]//Lawrence J. Starfish: Biology and Ecology of the Asteroidea. Baltimore: JHU Press, 2013: 174-180.
- [18] Brokordt K B, Himmelman J H, Guderley H E. Effect of reproduction on escape responses and muscle metabolic capacities in the scallop *Chlamys islandica* Müller 1776[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 251(2): 205-225.
- [19] Dadswell M J, Weihs D. Size-related hydrodynamic characteristics of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* (Bivalvia: Pectinidae)[J]. Canadian Journal of Zoology, 1990, 68(4): 778-785.
- [20] Manuel J L, Dadswell M J. Swimming of juvenile sea scallops, *Placopecten magellanicus* (Gmelin): A minimum size for effective swimming?[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1993, 174(2): 137-175.
- [21] Millward A, Whyte M A. The hydrodynamic characteristics of six scallops of the Super Family Pectinacea, Class Bivalvia[J]. Journal of Zoology, 1992, 227(4): 547-566.

Force production during shell clap of scallop *Patinopecten yessoensis* and its response to predator starfish

ZHANG Jihong^{1,2}, XIA Yuying^{3,1}, GAO Zhenkun¹, LIU Yi¹, WU Wenguang¹, ZHANG Zixuan^{1,3}

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao 266071, China;
2. Qingdao Marine Science and Technology Pilot National Laboratory, Marine Fisheries Science and Food Production Process Functional Laboratory, Qingdao 266071, China;
3. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Scallop *Patinopecten yessoensis* is the mainly bottom culture species in Northern coastal of China. To know its moving characteristics after seeding will be helpful to improve return catch rate and to select suitable releasing site. In this paper, the pressure sensor-force gauge is used to measure the force production of scallop *Patinopecten yessoensis* and their escape response to predator starfish, in order to understand the movement behavioral characteristics of the scallop. According to the shell length, the scallops were divided into 3 experimental groups: big size (82.71±3.49) mm, middle size (65.76±4.20) mm and small size (32.36±2.38) mm. 15 individuals of each size of scallops were measured the force production for 3 min and then to measure the force response to starfish next day. The results showed that (1) the clap rates (time/s) of big, middle and small size scallop were 0.7±1.6, 1.1±0.5 and 0.6±0.4, respectively, and the maximum contraction force (F_{\max} , N) were 11.4±5.2, 5.9±1.3 and 1.8±0.6, respectively. The phase and tonic contractions of scallops alternated, and there were significant differences between different sizes. The larger the size, the stronger the closing force. (2) When stimulated by starfish, the F_{\max} , clap rate, total contraction force and tonic contraction force of 3 size scallops increased significantly. Among which, the maximum contraction force (F_{\max} , N) of big, middle and small size scallop increased to 17.1±2.8, 8.3±2.3, 2.6±0.5, respectively. However, there was no significant difference between the phase contraction force (F_{phasic}) with and without starfish stimulation, and there was no significant interaction between the size and the presence or absence of starfish stimulation. The force gauge method quantified the ability of the tonic contraction of scallop. In the future, it will be combined with video recording and other methods to further understand the jump or swim away speed from the predator and movement behavior characteristics of the scallop.

Key words: *Patinopecten yessoensis*; force gauge method; movement behavior; force production; escape response

Corresponding author: ZHANG Jihong. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn